

50 lat mechaniki płynów (świat i Polska)

Stanisław Drobnik
IMC, Pol. Częstochowska

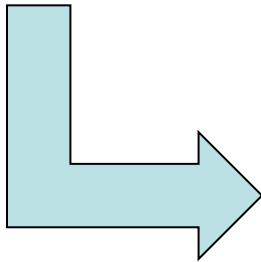
Tomasz Kowalewski
IPPT PAN

Plan prezentacji

1. Droga mechaniki płynów do współczesności
 - lata 60' XX wieku
 - lata 70' XX wieku
 - lata 80' XX wieku
 - lata 10' XXI wieku
2. Źródła sukcesu współczesnej mechaniki płynów
3. Autorzy sukcesu współczesnej mechaniki płynów
4. Perspektywiczne dziedziny (wyzwania?)
 - mikro
 - bio
 - zjawiska typu „multiphysics” oraz „multiscale”

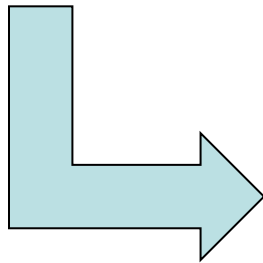
lata 60' XX wieku

- siłą napędową mechaniki płynów – lotnictwo
- mechanika płynów oparta na eksperymencie



lata 60' XX wieku

- siłą napędową mechaniki płynów – lotnictwo
- mechanika płynów oparta na eksperymencie



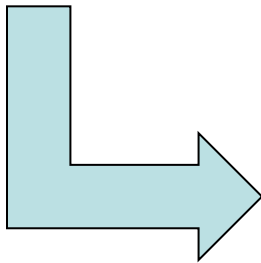
Niemcy (1935)



Bundesarchiv, Bild 102-17168
Foto: o. Ang. | Oktober 1935

lata 60' XX wieku

- siłą napędową mechaniki płynów – lotnictwo
- mechanika płynów oparta na eksperymencie

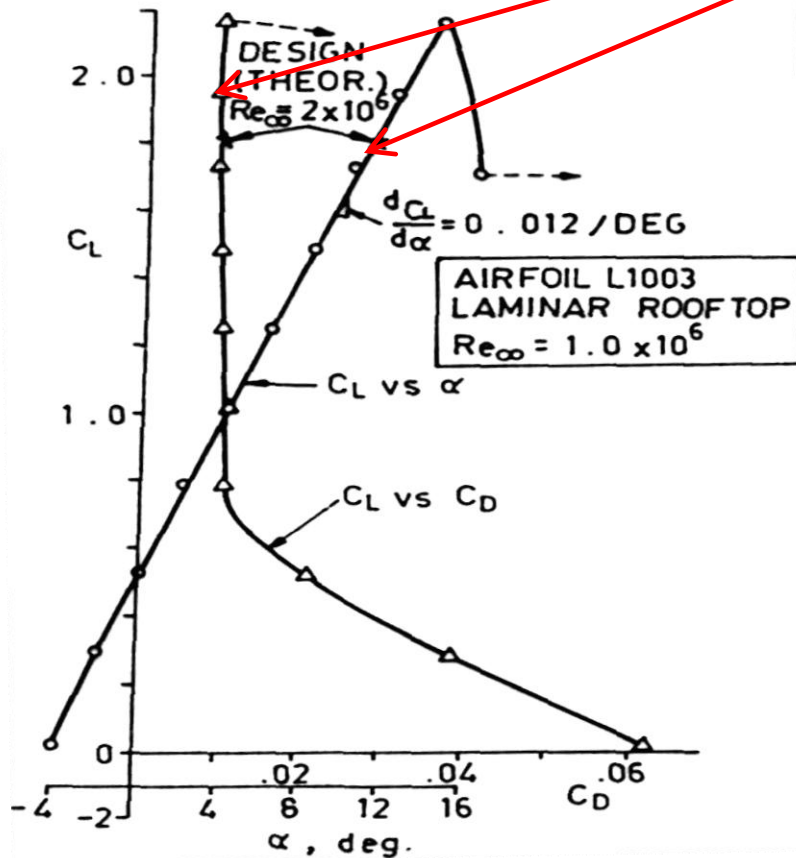
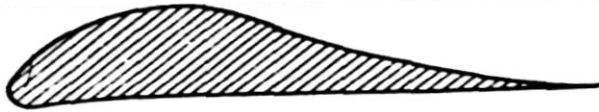


Langley USA (1990)



lata 70' XX wieku

- siłą napędową mechaniki płynów – lotnictwo
- zastosowanie CFD (Computational Fluid Mechanics) w mechanice płynów

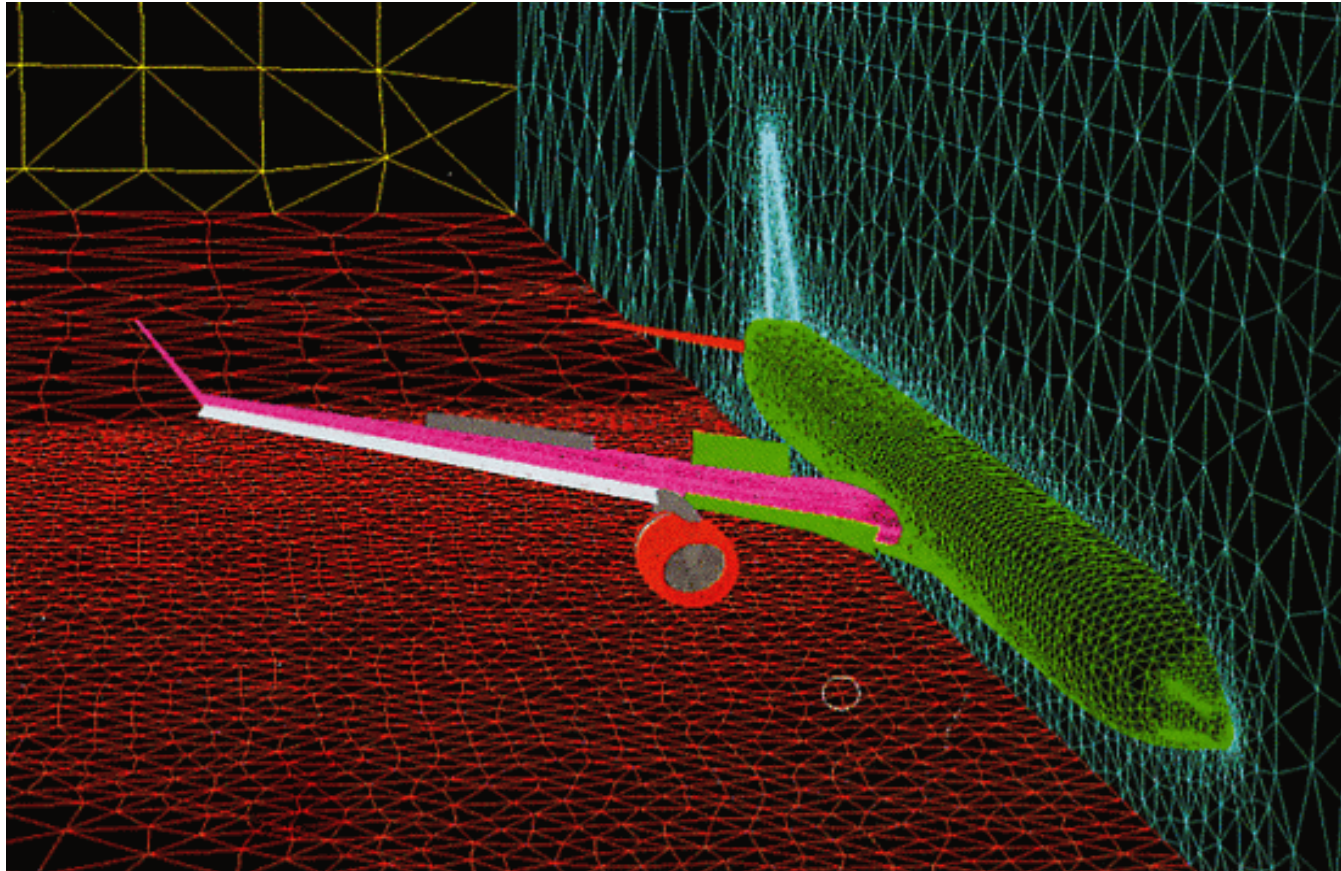


**Liebeck (1978) -
Opracowanie laminarnego
profilu skrzydła
szybowca z zastosowaniem
CFD**



lata 80' i 90' XX wieku

- siłą napędową mechaniki płynów – lotnictwo
- zastosowanie CFD (Computational Fluid Mechanics) w mechanice płynów



***3 – 8 millionów of węzłów, ICEM CFD daje siatkę w 1 – 2 dni,
typowy czas obliczeń ~ kilka godzin (overnight)***

lata 10' XXI wieku

- dyfuzja osiągnięć lotnictwa do innych działów przemysłu (poczynając od przemysłu samochodowego)

tradycyjna optymalizacja kształtu pojazdu – etap I – badania modelowe

szkic



model gliniany w skali 1/5



badania tunelowe modelu,
współczynnik oporu,



optymalizacja aerodynamiczna i
stylistyczna

Uwaga: testowanie setek wersji

lata 10' XXI wieku

- dyfuzja osiągnięć lotnictwa do innych działów przemysłu (poczynając od przemysłu samochodowego)

Opel Eco Speedster Test - Case

szkic



model gliniany w skali 1/5



przeskalowanie 1/1, siatka CFD



3D Scanners
staff member
scanning the
Ferrari 550

**skanowanie 3D
(geometria CAD)**

lata 10' XXI wieku

- dyfuzja osiągnięć lotnictwa do innych działów przemysłu (poczynając od przemysłu samochodowego)

Opel Eco Speedster Test - Case

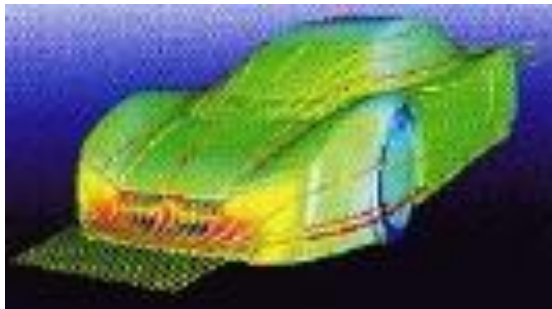
szkic



model gliniany w skali 1/5



optymalizacja aerodynamiki
z użyciem CFD



geometria CAD dla badań
tunelowych „full scale”

lata 10' XXI wieku

- dyfuzja osiągnięć lotnictwa do innych działów przemysłu (poczynając od przemysłu samochodowego)

Opel Eco Speedster Test - Case

cel:

- 2.5 l/100 km
 - 250 km/h
- (z silnikiem
1.3 CDTI 112 kW)



wynik:

- 2.5 l/100 km
 - 264 km/h
- (z silnikiem 1.3 CDTI 112 kW,
opór aerodynamiczny
mniejszy o 5% w porównaniu
z założonym celem)

Koszt:

- 4 mln węzłów siatki hybrydowej
- 200 wersji testowanych w tunelu
- 25 cykli obliczeń CFD
- błąd współczynnika oporu z obliczeń CFD 0.5 %

Źródła sukcesu współczesnej mechaniki płynów

Lumley, Yaglom, ETC VII, Barcelona, 2000

$$N(t) = 0.434 e^{t/11.8} \quad (\text{Monin, Yaglom, Statisticeskaja} \\ \text{Gidrodinamika, 1965})$$

- N(t)** – roczna liczba artykułów dot. turbulencji
t – liczba lat (od r. 1900)

Wnioski:

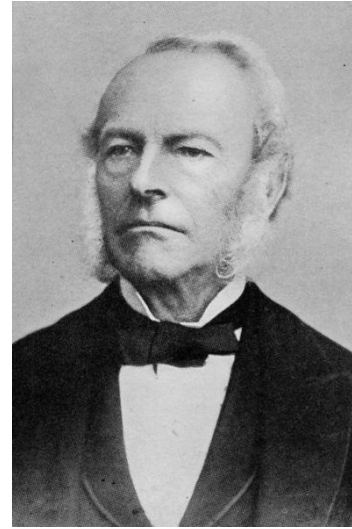
podwajanie rocznej liczby publikacji co 8 lat, przykłady:

1921 – G.I. Taylor – „Diffusion by Continuous Movement” (2-3 publikacje rocznie)

50’ – Corrsin, Batchelor (~30 publikacji rocznie)

60’ ~ 100 publikacji rocznie (cytowanych w Monin, Yaglom, 1965)

Autorzy sukcesu CFD



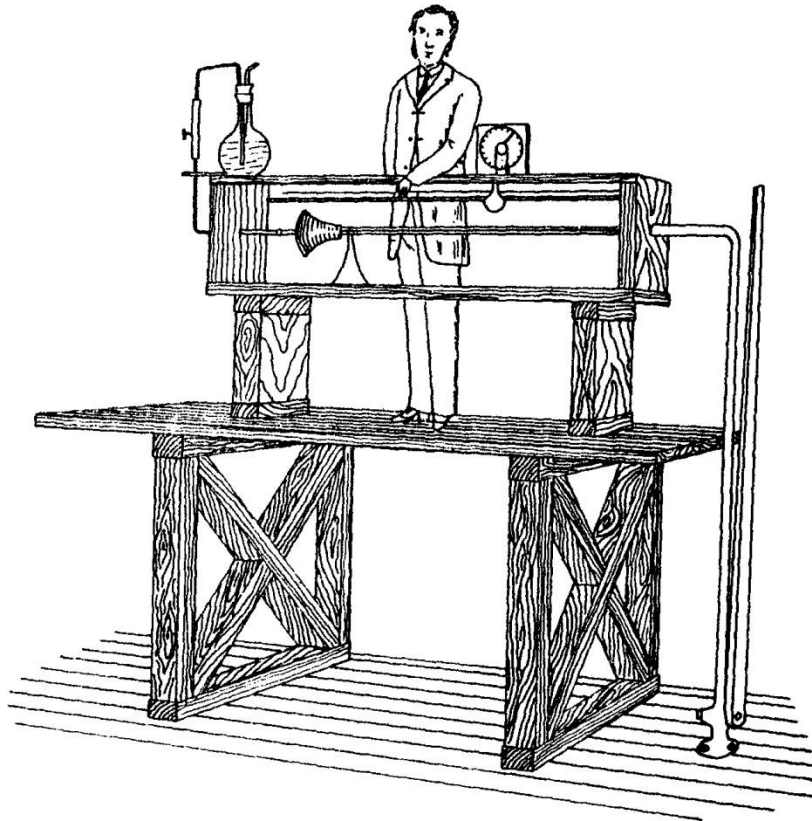
C.L. Navier (1785 – 1836)

G.G. Stokes (1819 – 1903)

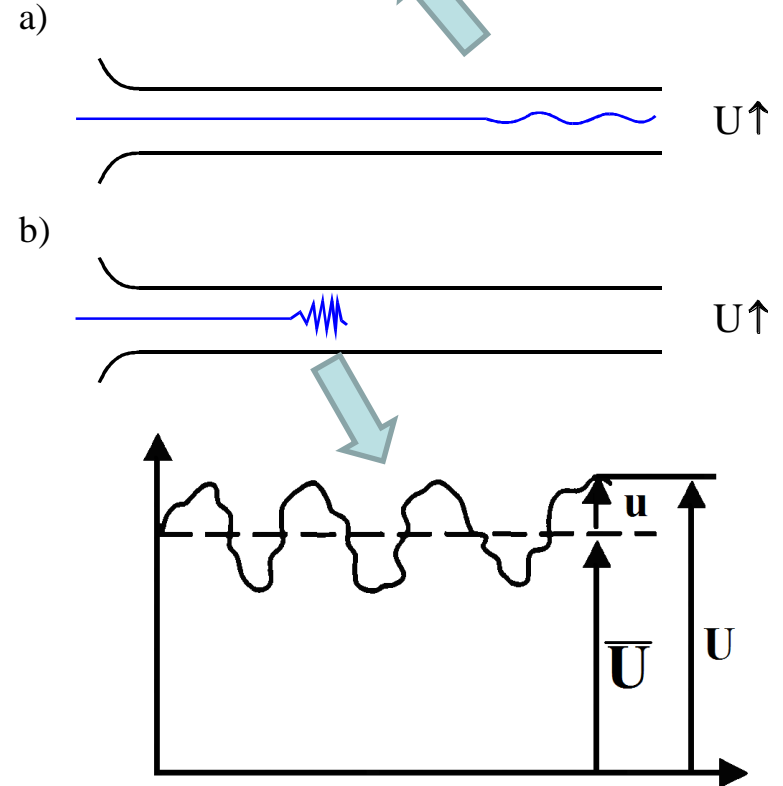
$$\rho \frac{DU_i}{Dt} = F_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} \quad (\mathbf{N} - \mathbf{S})$$

Autorzy sukcesu CFD

$$\rho \frac{DU_i}{Dt} = F_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}$$



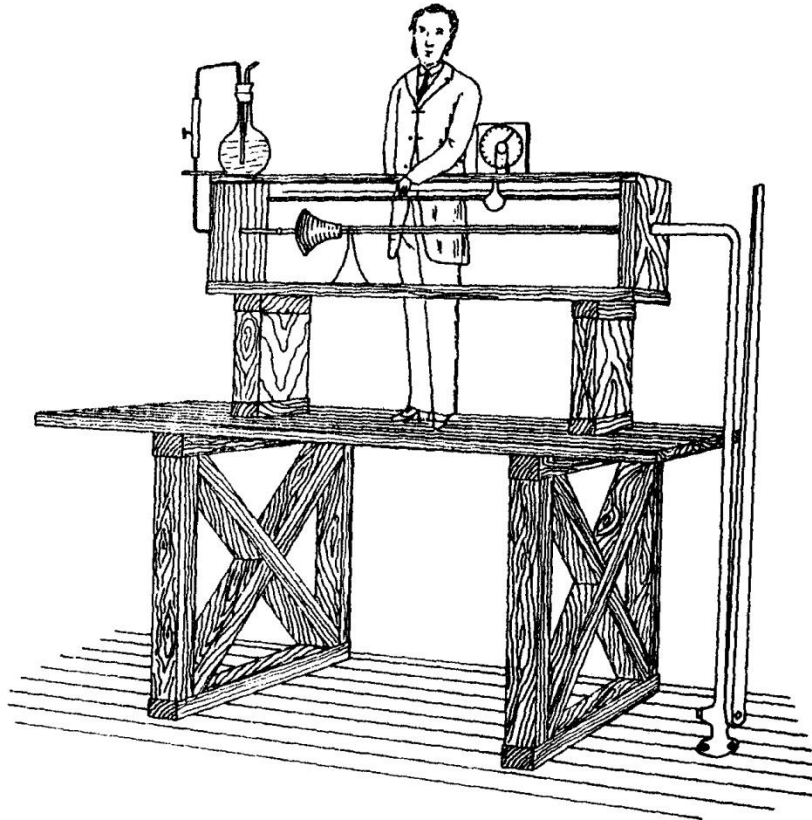
O. Reynolds (1842 – 1912)



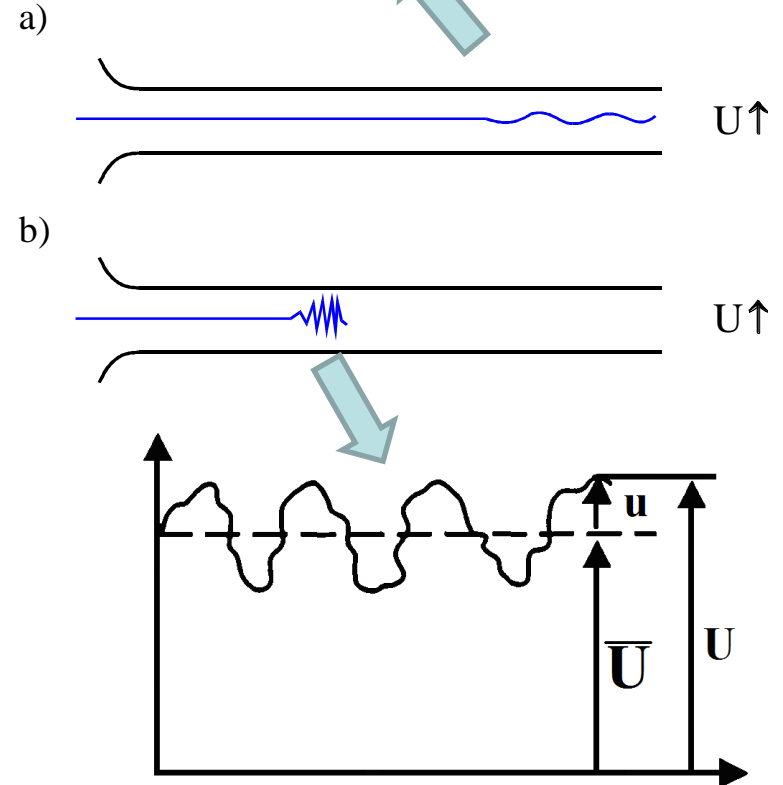
dekompozycja Reynoldsa

Autorzy sukcesu CFD

$$\rho \frac{DU_i}{Dt} = F_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}$$



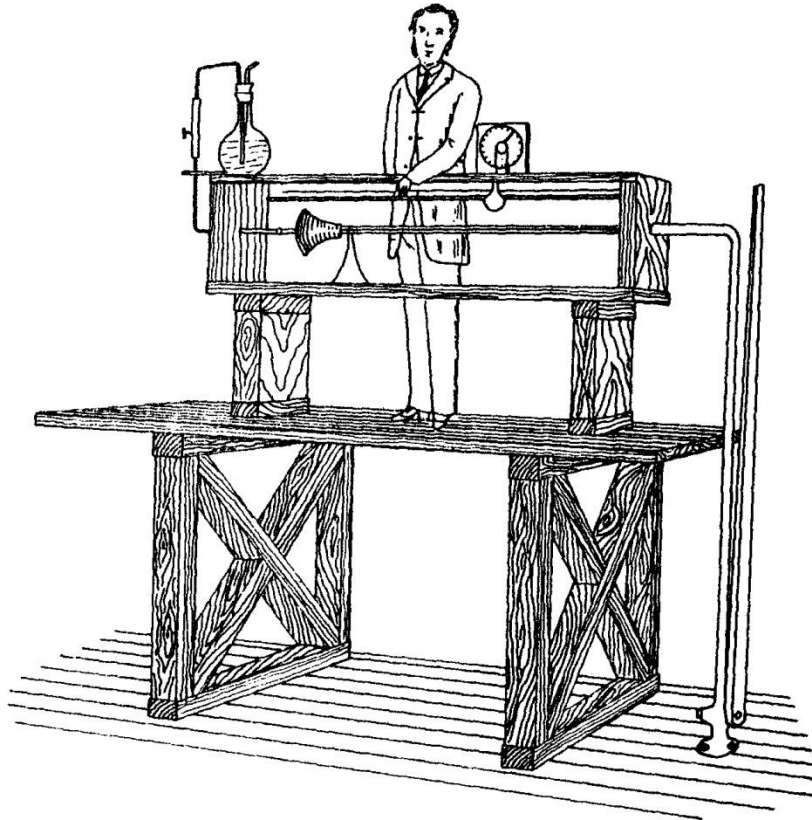
O. Reynolds (1842 – 1912)



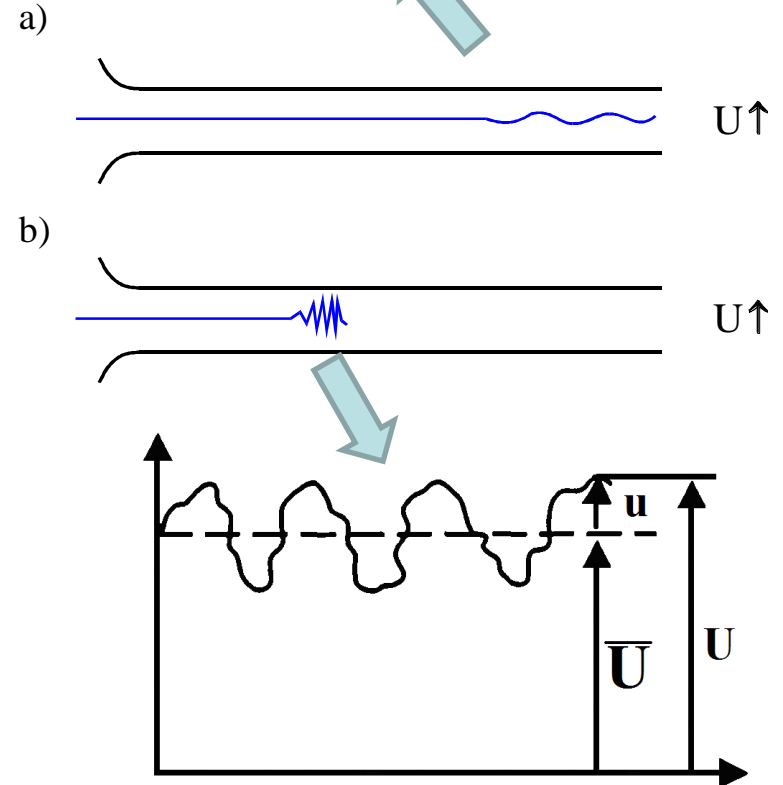
**statystyczna teoria
turbulencji**

Autorzy sukcesu CFD

$$\rho \frac{DU_i}{Dt} = F_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}$$

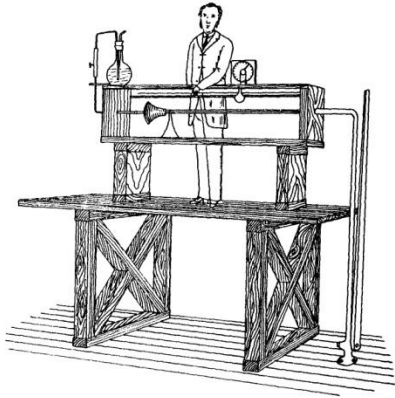


O. Reynolds (1842 – 1912)

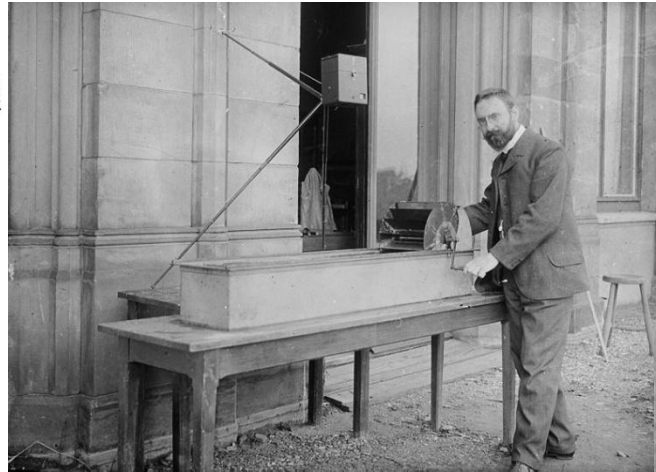


RANS – Reynolds Averaged Navier - Stokes

Autorzy sukcesu CFD



O. Reynolds (1842 – 1912)

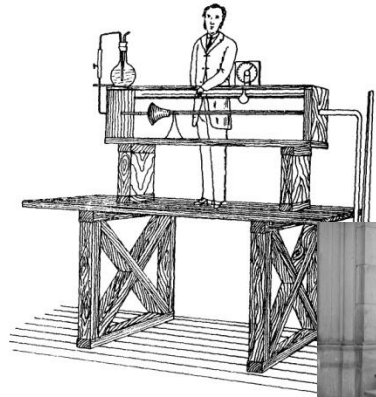


L. Prandtl (1875 – 1953)

A. Kolmogorov (1903 – 1987)



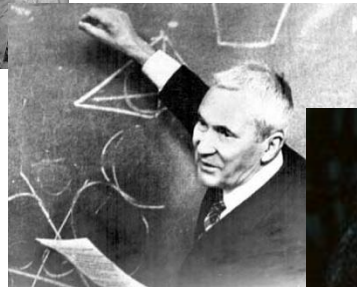
Autorzy sukcesu CFD



O. Reynolds (1842 – 1912)



L. Prandtl (1875 – 1953)



A. Kolmogorov (1903 – 1987)



Wolfgang Rodi – $k - \omega$ (1970)

$k - \varepsilon (?)$



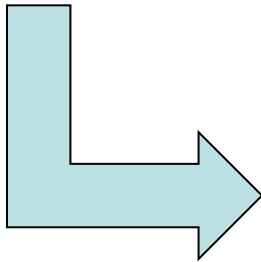
Kemo Hanjalic – RSM (1971)

Czy CFD jest dziełem skończonym ?

- ***B. Baldwin, H. Lomax – 1978***
- ***P. Spalart, S. Almaras – 1994***
- ***F. Menter – 2007 - „k- ω SST” ; „SST-SAS”***
- ***przemysł lotniczy – „dokładność < 1 %”, zatem konieczność doskonalenia metod RANS, w kraju min.:***
 - ***RANS - modele cząstkowe (np. przejście I-t – W. Elsner Pol. Częstochowska, interakcja fali uderzeniowej z warstwą przyścienną – P. Doerffer, IMPPAN, modele kondensacji – T. Chmielniak, Pol. Śląska),***
 - ***rozwój schematów numerycznych – J. Rokicki (Pol. Warszawska), K. Banaś (Pol. Krakowska)***
 - ***metody hybrydowe – A. Styczek (Pol. Warszawska), H. Kudela (Pol. Wrocławska)***

lata 10' XXI wieku

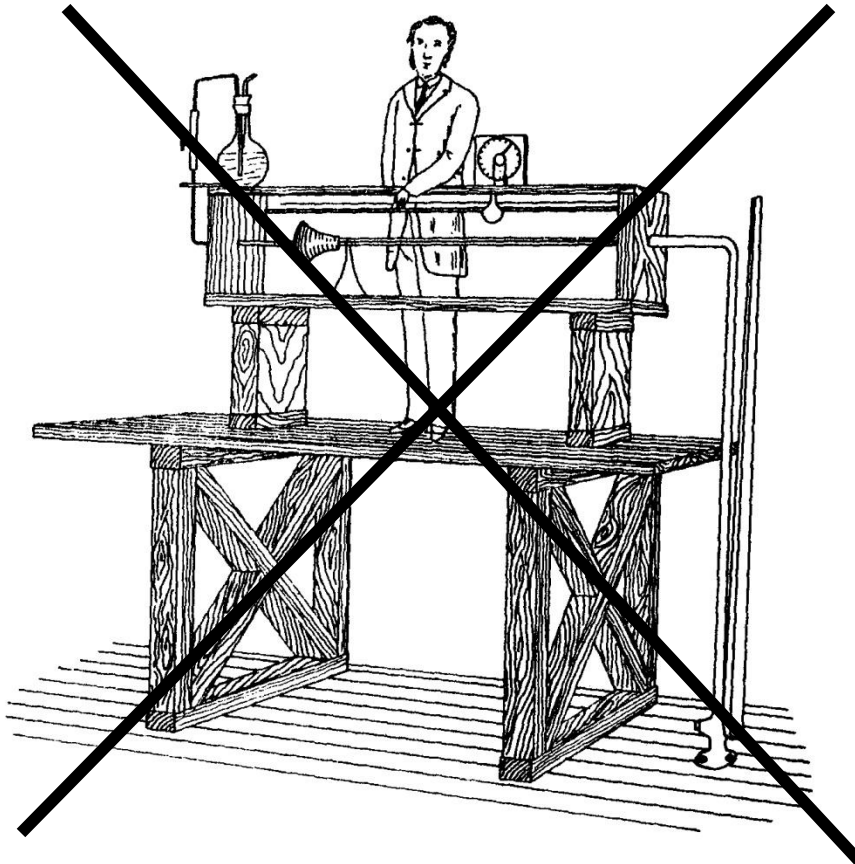
- czy mechanika płynów nadal oparta na eksperymencie ?



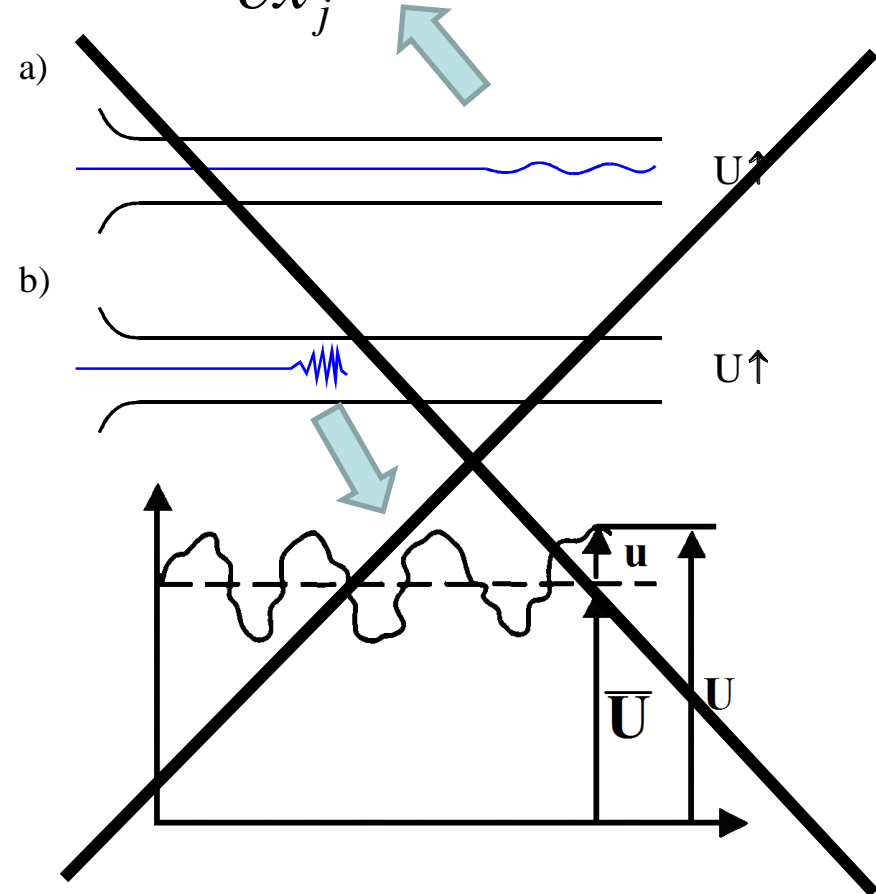
Langley USA („mothballed” w 2004)

lata 10' XXI wieku

$$\rho \frac{DU_i}{Dt} = F_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}$$



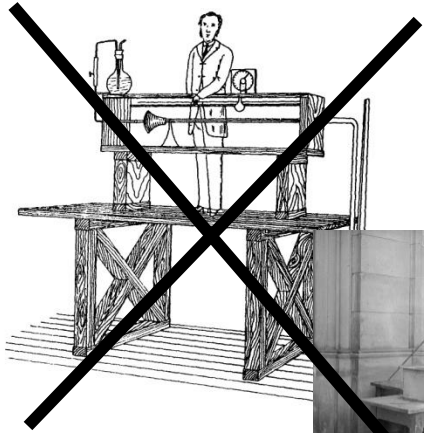
O. Reynolds (1842 – 1912)



dekompozycja Reynoldsa

lata 10' XXI wieku

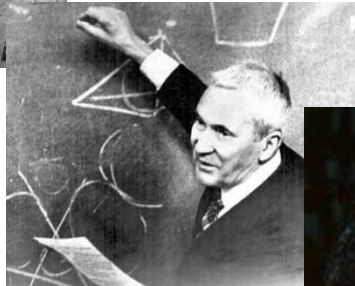
O. Reynolds (1842 – 1912)



L. Prandtl (1875 – 1953)



A. Kolmogorov (1903 – 1987)



Wolfgang Rodi – $k - \omega$ (1970)



Kemo Hanjalic – RSM (1971)

lata 10' XXI wieku

$$\rho \frac{DU_i}{Dt} = F_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} \quad (\mathbf{N} - \mathbf{S})$$

- **Leray** (1934) – „rozwiązanie równań N-S dla 3D jest regularne i jedyne tylko dla skończonego czasu”
- **Ruelle, Takens** (1971) - „równania N-S opisują turbulencję gdyż mają dziwny atraktor, pojawiający się po kilku elementarnych bifurkacjach Hopfa, a chaotyczne zachowanie rozwiązania opisuje proces przejścia „l-t” ,
- **Temam** (1977) - istnienie i jednoznaczność rozwiązania N-S dla 2D,
- **Lesieur** (1990) - „...rozwiązanie N-S dla 3D istnieje tylko dla skończonego czasu ale obecność lepkości „wygładza” będzie rozwiązanie na tyle silnie, aby zapobiegać pojawianiu się osobliwości i bifurkacji do innego rozwiązania... ” – **droga mechaników,**

lata 10' XXI wieku

$$\rho \frac{DU_i}{Dt} = F_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}$$

- *bezpośrednie rozwiązanie równań N-S w dziedzinie czasu z uwzględnieniem wszystkich skal ,*
- *kolejne rozwiązania w dziedzinie czasu traktowane jako realizacje procesu losowego i uśrednianie dla wyznaczenia miar statystycznych procesu,*

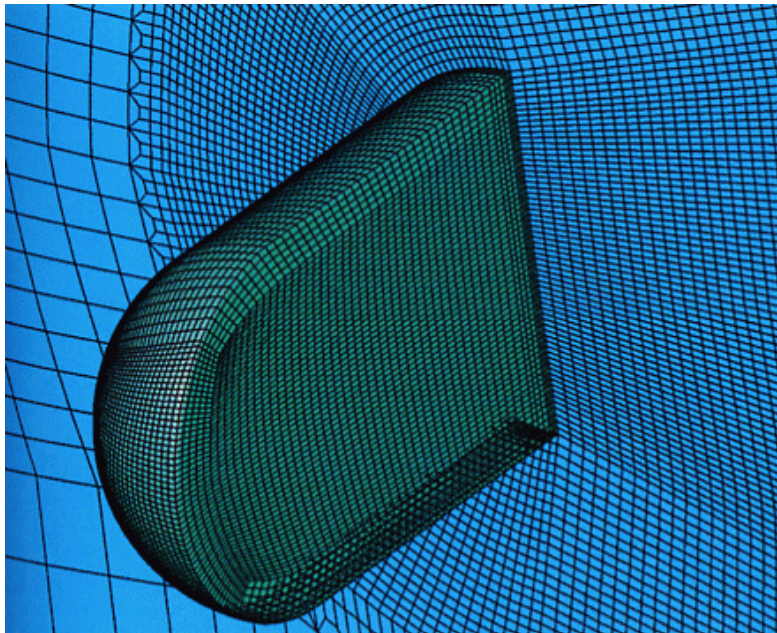
Direct Numerical Simulation (DNS)

lata 10' XXI wieku

$$\rho \frac{DU_i}{Dt} = F_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}$$

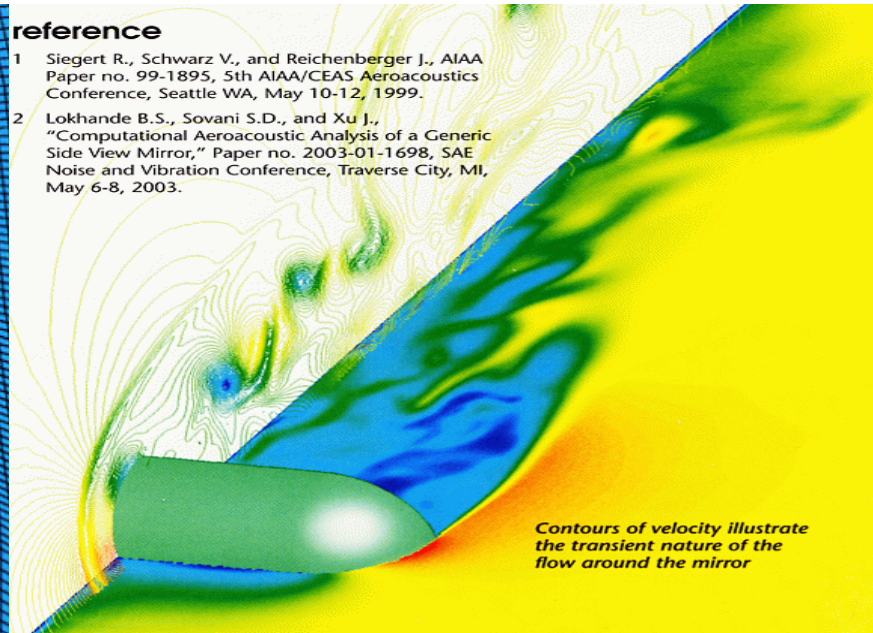
Direct Numerical Simulation (DNS)

Case – study of Citroen C5 aerodynamic noise:



reference

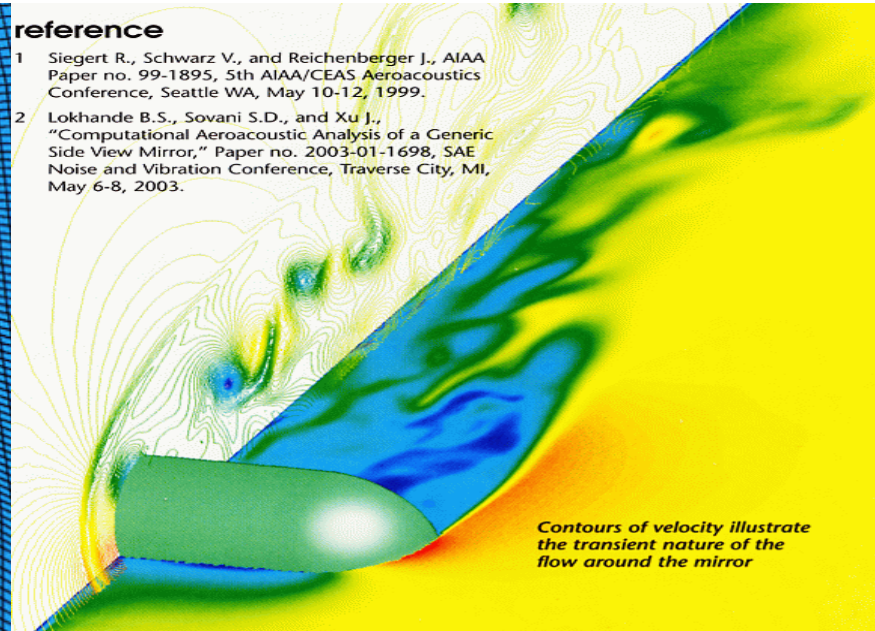
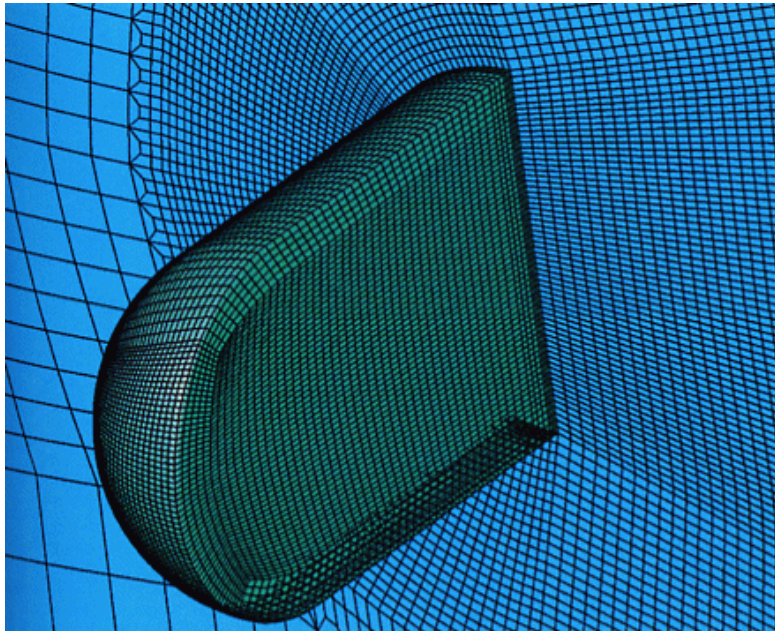
- 1 Siegert R., Schwarz V., and Reichenberger J., AIAA Paper no. 99-1895, 5th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Seattle WA, May 10-12, 1999.
- 2 Lokhande B.S., Sovani S.D., and Xu J., "Computational Aeroacoustic Analysis of a Generic Side View Mirror," Paper no. 2003-01-1698, SAE Noise and Vibration Conference, Traverse City, MI, May 6-8, 2003.



lata 10' XXI wieku

Direct Numerical Simulation (DNS)

Case – study of Citroen C5 aerodynamic noise:



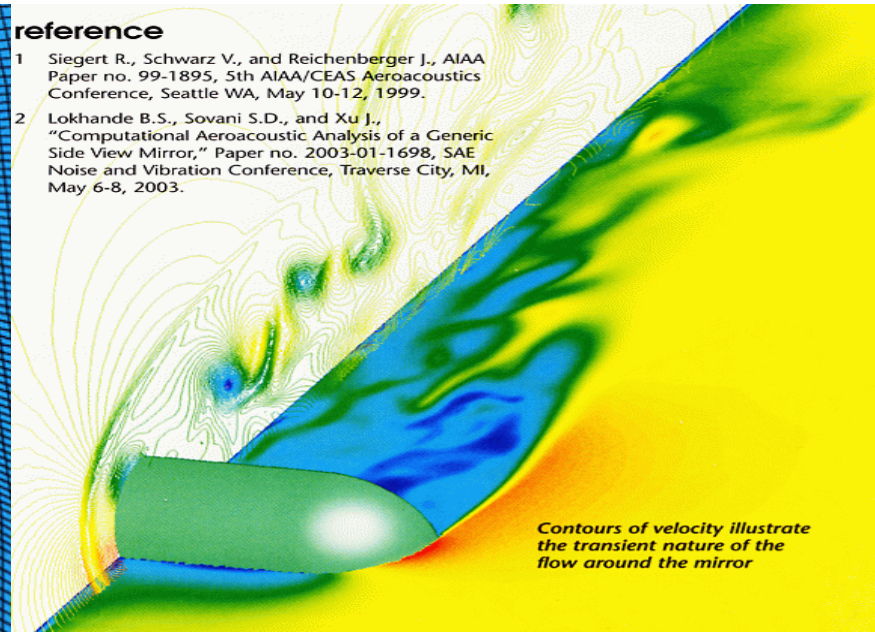
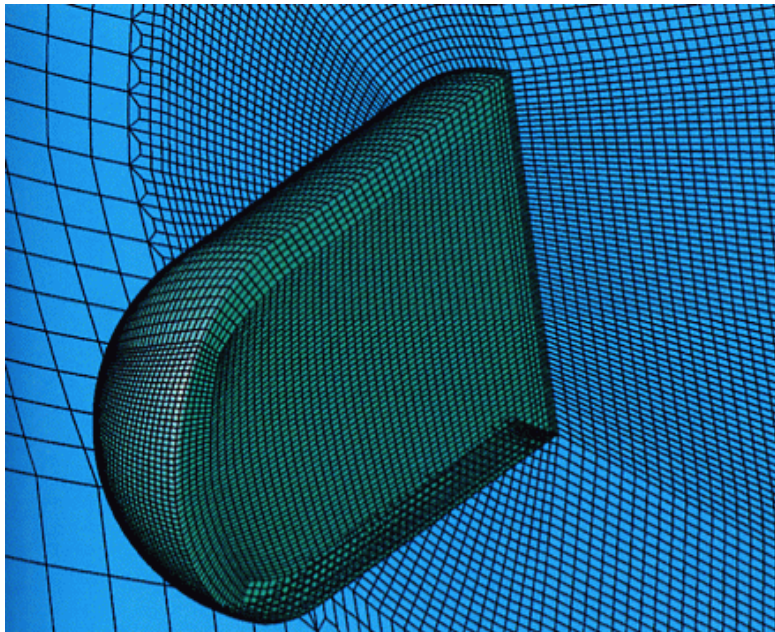
Konsekwencje dla eksperymentu :

- ***konieczność stosowania metod polowych zamiast estymat punktowych***

lata 10' XXI wieku

Direct Numerical Simulation (DNS)

Case – study of Citroen C5 aerodynamic noise:



Uwaga:

- zagadnienia „multiphysics” oraz „multiscale”
- **im bardziej złożone zagadnienie tym bliżej źródeł**

lata 10' XXI wieku

$$\rho \frac{DU_i}{Dt} = F_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}$$

Direct Numerical Simulation (DNS)

w kraju (droga mechaników):

- **DNS** – E. Tuluszka – Sznitko (Pol. Poznańska),
- **LES** – A. Bogusławski, A. Tyliszczak (Pol. Częstochowska),
J. Pozorski, M. Wacławczyk (IMP PAN), J. Donizak,
M. Jaszczur (AGH),
- **LODS** – M. Morzyński (Pol. Poznańska),

lata 10' XXI wieku

Direct Numerical Simulation (DNS)

Clay Mathematics Institute, Cambridge Mass., 24 maja 2000

Siedem Problemów Millenijnych (*zagadnienia o podstawowym znaczeniu dla matematyki, bezskutecznie rozwiązywane od wielu lat*)

1.
2.
3.
4.
5.

6. *Navier – Stokes Existence and Smoothness*

7.

Uwaga: nagroda za rozwiązanie każdego z problemów wynosi 1 mln. USD,
problem istnienia, jednoznaczności i regularności równań N-S jest nadal
otwarty

lata 10' XXI wieku

Direct Numerical Simulation (DNS)

Clay Mathematics Institute, Cambridge Mass., 24 maja 2000

Siedem Problemów Millenijnych (*zagadnienia o podstawowym znaczeniu dla matematyki, bezskutecznie rozwiązywane od wielu lat*)

1.
2.
3.
4.
5.

6. *Navier – Stokes Existence and Smoothness*

7.

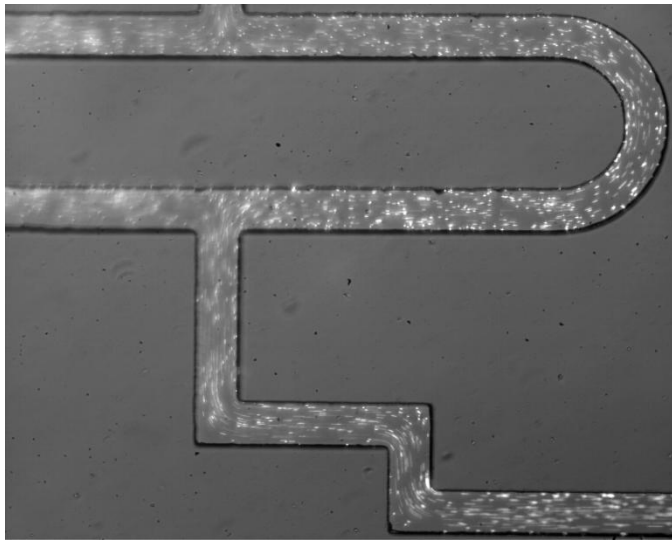
Ładyżenska (1987) – „...trudności wynikają być może z rozpatrywania zagadnienia N-S w zbyt dużej przestrzeni...” - ujęcie teoriogrupowe (np.

Kato – Fujita) — droga matematyków, w kraju min. B. Szafirski, D.

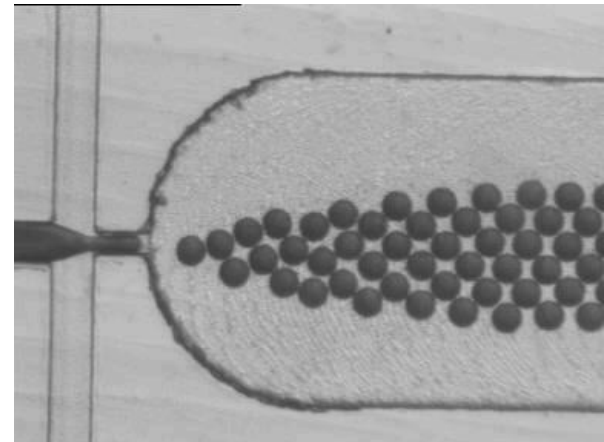
Wrzosek, A. Icha

lata 10' XXI wieku – skala mikro

- ✓ Mała liczba Reynoldsa – jak doprowadzić do mieszania w mikroskali
- ✓ Efekty powierzchniowe \gg objętościowych – jak zmusić ciecz do wypełnienia kanału
- ✓ Opór lepki i spadek ciśnienia - jak wymusić przepływ?
- ✓ Przepływ wielofazowy – jak uwzględnić oddziaływania hydrodynamiczne + elektrostatyczne + magnetyczne w obecności ścianek
- ✓ Sortowanie, mikrodozowanie, enkapsulacja



IChF + IPPT



150 μ m

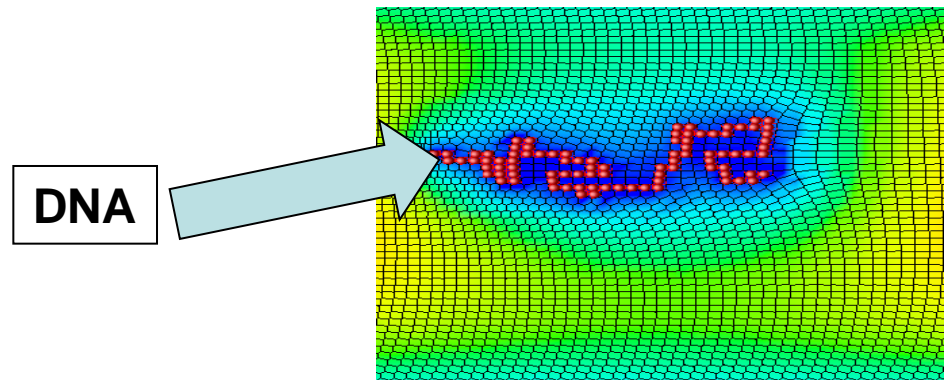
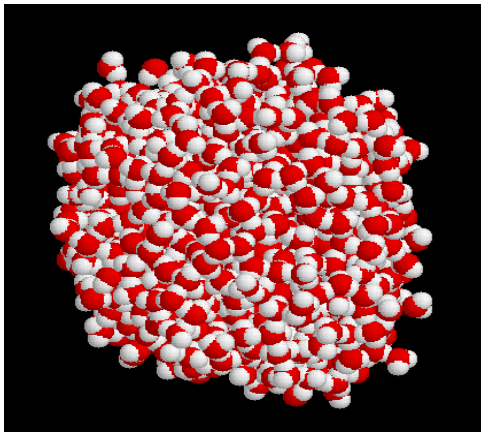
lata 10' XXI wieku – skala nano

$$\rho \frac{DU_i}{Dt} = F_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}$$

Nanoskala: ośrodek nie – continuum, stan nierównowagowy, fluktuacje własności fizycznych, oddziaływania elektrostatyczne jonów, swobodnych elektronów.

lata 10' XXI wieku – skala nano

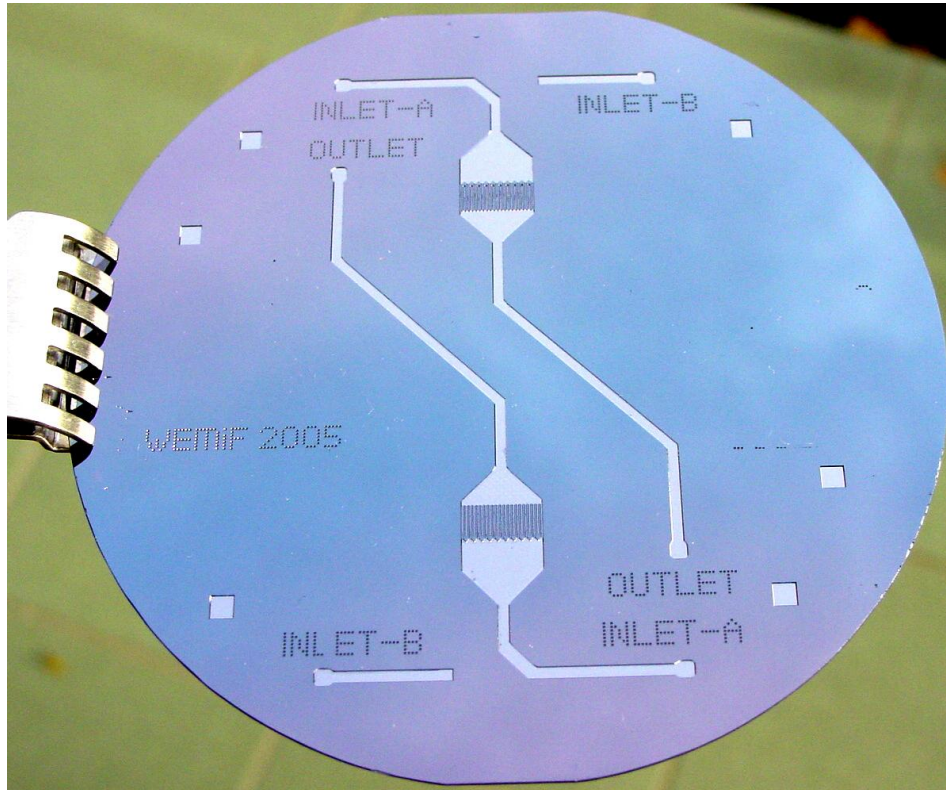
- Dynamika molekularna (MD)
- Cząstki dysypatywne (DPD)
- Metody hybrydowe mikro/meso skalowe
- Uzupełnienie opisu ciągłego metodami klasycznymi (poślizg, oddziaływania elektrostatyczne, dyskretne elementy mechaniczne)



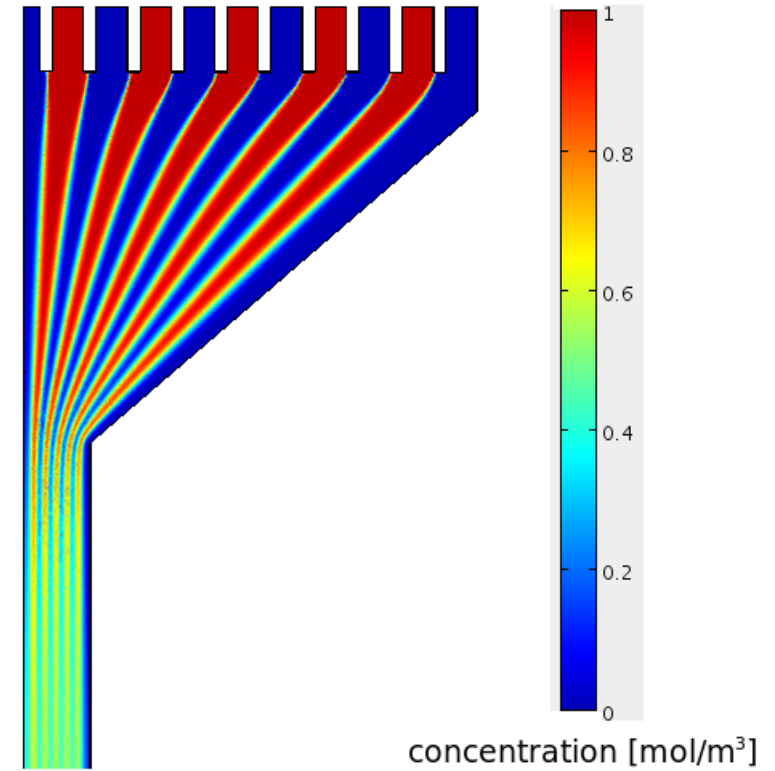
Nanoskala: stan nierównowagowy, fluktuacje własności fizycznych, oddziaływania elektrostatyczne jonów, swobodnych elektronów.

lata 10' XXI wieku – skala mikro

w kraju:



PWr – mikser na podłożu krzemowym
(J. Dziuban)



IPPT – symulacja numeryczna
(T. Kowalewski)

Wnioski

- 1. Perspektywiczne dziedziny (wyzwania?)**
 - mikro
 - bio
 - zjawiska typu „multiphysics” oraz „multiscale”
- 2. Rozwój metod modelowania uwarunkowany i stymulowany możliwościami infrastruktury obliczeniowej (NASA 2009’ – 54 tys. procesorów – TASK 1 tys. procesorów) oraz eksperymentalnej**
- 3. Konieczność sprecyzowania priorytetów badawczych (mimo uznania lotnictwa za branżę perspektywiczną metody modelowania i projektowania nie znalazły się na liście priorytetów Narodowego Planu Rozwoju)**
- 4. Doskonalenie RANS – konkurencyjność przemysłu - kadra inżynierska**